

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 666.952

Дворкін Л. Й., д.т.н., професор, Мироненко А. В., к.т.н., доцент, Степасюк Ю. О., аспірант, Брикса В. В., студентка ФБА
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ФІБРОБЕТОН НА МАЛОКЛІНКЕРНОМУ ШЛАКОПОРТЛАНДЦЕМЕНТІ

В статті розглянуто результати досліджень фібробетону виготовленого на основі малоклінкерного шлакопортландцементу із вмістом клінкеру менше 20%. Визначено вплив поліпропіленової та базальтової фібри на міцнісні характеристики бетону.

Ключові слова: фібра, шлакопортландцемент, фібробетон, суперпластифікатор.

Однією з найактуальніших проблем сучасної будівельної галузі є розробка і впровадження ресурсозберігаючих технологій, що сприяє широкому застосуванню промислових відходів як сировини для виробництва будівельних матеріалів.

Український стандарт ДСТУ Б В.2.7-46: 2010 гармонізований з європейським стандартом на цемент EN 197-1 передбачає виробництво шлакопортландцементу з вмістом клінкеру 5-20% [1]. Малоклінкерні-цементи, наповнені промисловими відходами (шлак, зола-винесення), мають ряд позитивних особливостей. Вони характеризуються низькою вартістю, їх виробництво менш енергоємне, дозволяє утилізувати накопичені відходи, знизити шкідливі викиди в атмосферу. Однак такі цементи поки не надто популярні серед виробників, насамперед, через відносно низьку активність (найбільш поширена марка М400), повільного набору міцності і підвищеної водопотреби. Бетони виготовлені на таких цементах характеризуються тим, що мають практично нейтральне внутрішнє середовище, що пов'язано із повним зв'язуванням гідроксиду кальцію, який виділяється в результаті гідратації клінкерних мінералів. А як відомо, в нейтральному середовищі активно проходять процеси корозії сталльної арматури, тому перспективним шляхом використання такого виду в'язучих є виготовлення фібробетонів на основі базальтового та поліпропіленового волокна, які не є схильними до корозії, та здійснюють позитивний вплив на властивості бетону [2].

Ще в давнину було встановлено факт, що якщо в глину призначену

для зведення житла, попередньо додати солому, очерет або овечу вовну, то стіни набувають підвищеної міцності та менше розтріскуються. Так з'явився саман – далекий предок сучасного фібробетону. Фібробетон ще досить молодий, але, без сумніву, дуже перспективний матеріал.

Фібробетон – це різновид дрібнозернистого бетону з додавання фібри. В якості фібри можуть бути використані скляні, синтетичні або сталеві волокна довжиною від 5 до 150 мм і діаметра приблизно від 0,2 мм до 1,0 мм [3]. У результаті виходить фіброве армування, яке і надає фібробетону унікальні в порівнянні із звичайним бетоном властивості: високу міцність на розтяг і зріз, підвищену ударну в'язкість, а також морозостійкість і водонепроникність, що дозволяє виділити його в самостійну і дуже цінну групу конструкційних матеріалів з притаманною тільки для нього особливістю структури і властивостей.

Фібробетон, як і бетон, є композиційним матеріалом, що складається з двох матеріалів і має властивості, яких не мають вихідні матеріали – цементно-бетонної матриці з рівномірним розподілом за її обсягом орієнтованих або хаотично розташованих фібр різного походження. У фібробетоні розтягуючі напруження приймають на себе волокна фібри, що підвищує його опір розтягуванню при вигині і міцність при стисненні. Фіброволокно посилює кути і торці бетонних конструкцій, виключаючи тим самим відколи, знижує усадку і, відповідно, утворення тріщин в процесі перших годин твердіння бетону, зменшує ймовірність пошкодження конструкцій при знятті опалубки [4].

Метою даної роботи було вивчення комплексного впливу на міцність фібробетону, виготовленого на основі малоклінкерного шлакопортландцементу (МШПЦ), витрати цементу та добавки суперпластифікатора, при відомому значенні водопотреби і заданій рухомості бетонної суміші, а також виду та кількості фіброволокна.

В якості сировинних матеріалів для проведення експериментальних досліджень нами було використано базальтові та поліпропіленові волокна довжиною 12 мм, основні характеристики яких наведені в табл.1. Кількість веденого волокна складала 0, 0,5 та 1 кг/м³ бетонної суміші. В якості в'язучого використовувався малоклінкерний шлакопортландцемент наступного складу: клінкер – 12%, доменний гранульований шлак – 88%, фосфогіпс дигідрат – 7,5% (в перерахунку на SO₃ – 4,5%), хімічний склад матеріалів наведений в табл. 2. Активність в'язучого питомою поверхнею 550 м²/кг складала 43 МПа. В якості пластифікуючої добавки було використано добавку суперпластифікатор СП-1 (С-3) новомосковського підприємства "Поліпласт". В якості

заповнювачів для бетону використовувались гранітний щебінь Клесівського родовища з максимальною крупністю зерен 20 мм та пісок Нетішинського кар'єру з $M_{кр}=1,9$.

Таблиця 1

Технічні характеристики фіброволокна

Характеристики	Базальтове волокно	Поліпропіленове волокно
1. Діаметер окремо волокна, мкм	16	20-33
2. Довжина, мм	12	12
3. Міцність на розрив, Н/мм ²	110	400
4. Модуль пружності, МПа	70000	4000
5. Кількість одиничних волокон, млн шт/кг	74,4	350-500
6. Температура плавлення, °С	1450	170

Таблиця 2

Хімічний склад вихідних матеріалів

Вид матеріалів	Вміст оксидів, мас. %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	MnO	P ₂ O ₅
Доменний гранульований шлак	39,52	6,49	0,12	47,13	3,10	1,74	1,15	-
Фосфогіпс	-	0,36	0,15	38,4	0,003	59,7	-	0,67
Клінкер	22,47	5,26	4,07	66,18	0,64	0,46	0,29	-

Основні дослідження були виконані із застосуванням математичного планування експерименту. Для цього був реалізований трирівневий двофакторний план [5]. Умови планування експериментів наведені в табл. 3. Рухомість бетонної суміші у всіх точках плану складала 5-7 см.

Таблиця 3

Умови планування експерименту

№	Фактори		Рівні варіювання			Інтервал
	Код	Натуральний вид	-1	0	+1	
1	X ₁	Витрата в'язучого, кг/м ³	300	400	500	100
2	X ₂	Витрата пластифікатора, %	0	0,3	0,6	0,3
4	X ₄	Витрата фібри, кг/м ³	0	0,5	1	0,5

Таблиця 4

Експериментально-статистичні моделі водопотреби та міцності бетонів на малоклінкерному шлакопортландцементі

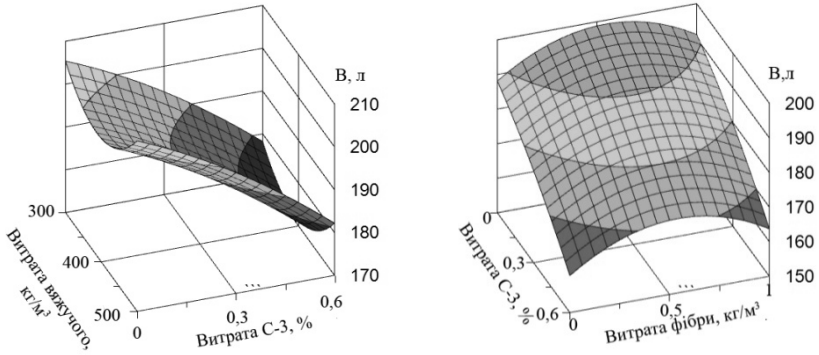
Вид волокна	Статистичні моделі
Водопотреба бетону	
Базальтове волокно	$B=187,4+2,1X_1-13,7X_2+1,5X_3+8,8X_1^2-2,2X_1^2-9,2X_3^2;$ (1)
Поліпропіленове волокно	$B=188,7-0,4X_1-14,9X_2+0,9X_3-5,4 X_1^2+9,1X_2^2-8,9X_3^2+1,4X_1X_2+0,4X_1X_3-0,9X_2X_3$ (2)
Міцність на стиск у віці 7 діб	
Базальтове волокно	$R_7= 13,4+6X_1+3,8X_2-0,3X_3+1,1X_1^2+1,2X_2^2-3,3X_3^2+3,3X_1X_2-0,2X_1X_3+0,1X_2X_3$ (4)
Поліпропіленове волокно	$R_{ст}^7=17,656+7,552X_1+6,651X_2+6,969X_1^2+1,369X_2^2+1,2X_1X_2$ (5)
Міцність на стиск у віці 28 діб	
Базальтове волокно	$R_{28}= 23,6+9,1X_1+3,7X_2-0,8X_3-2X_1^2+3X_2^2-3,2X_3^2+2,8X_1X_2+0,2X_1X_3+0,6X_2X_3$ (6)
Поліпропіленове волокно	$R_{28}=15,6+9X_1+3,4X_2-0,81X_3+7,4 X_1^2-2X_2^2+1,3X_3^2+2,8X_1X_2-0,8X_1X_3+0,3X_2X_3$ (7)
Міцність на згин при розколюванні у віці 28 діб	
Базальтове волокно	R^{3T} $_{28}=1,54+0,73X_1+0,26X_2+0,43X_3+0,012X_1^2+0,062X_2^2+0,212X_3^2+0,3X_1X_2+0,225X_1X_3+0,15X_2X_3$ (8)
Поліпропіленове волокно	$R^{3T}_{28}=1,32+0,47X_1+0,14X_2-0,01X_3+0,27 X_1^2-0,18X_2^2+0,27X_3^2+0,09X_1X_2+0,04X_1X_3+0,14X_2X_3$ (9)

Після проведення обробки і статистичного аналізу експериментальних даних отримані математичні моделі водопотреби бетонної суміші та міцності на стиск і розтяг при розколюванні стандартних бетонних кубів на основі досліджуваних в'язучих у вигляді поліноміальних рівнянь регресії. Результати обробки та статистичного аналізу експериментальних даних наведені в табл. 4.

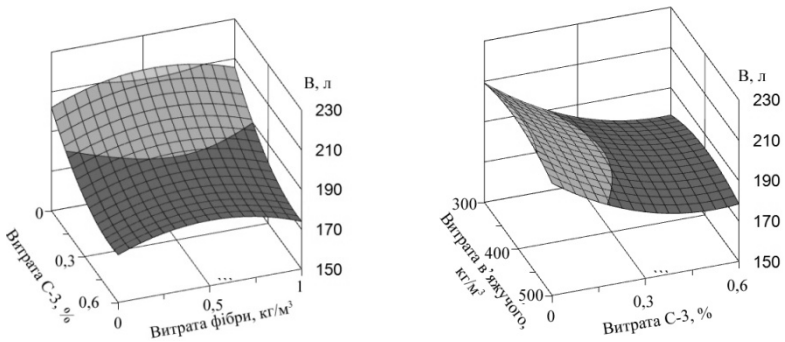
Графічні залежності, які ілюструють вплив технологічних факторів на водопотребу бетонної суміші та міцність бетону на стиск і згин представлені на рис. 1, 2, 3, 4.

Аналізуючи графіки зображені на рисунку 1 приходимо до висновку, що збільшення кількості в'язучого суттєво не впливає на водопотребу фібробетону, суттєвий вплив на неї справляє збільшення витрати суперпластифікатора С-3, збільшення вмісту якого до величини 0,6%

від маси цементу дозволяє знизити водопотребу бетону на 15% і відповідно підвищити міцність. Вплив даного фактору носить практично лінійний характер. До деякого збільшення кількості води необхідної для отримання бетонної суміші рухомістю 5-7 см призводить збільшення витрати фібри до величини 0,5 кг на м³ бетонної суміші.



а) Базальтове волокно



б) Поліпропіленове волокно

Рис. 1. Вплив технологічних факторів на водо потребу бетонної суміші

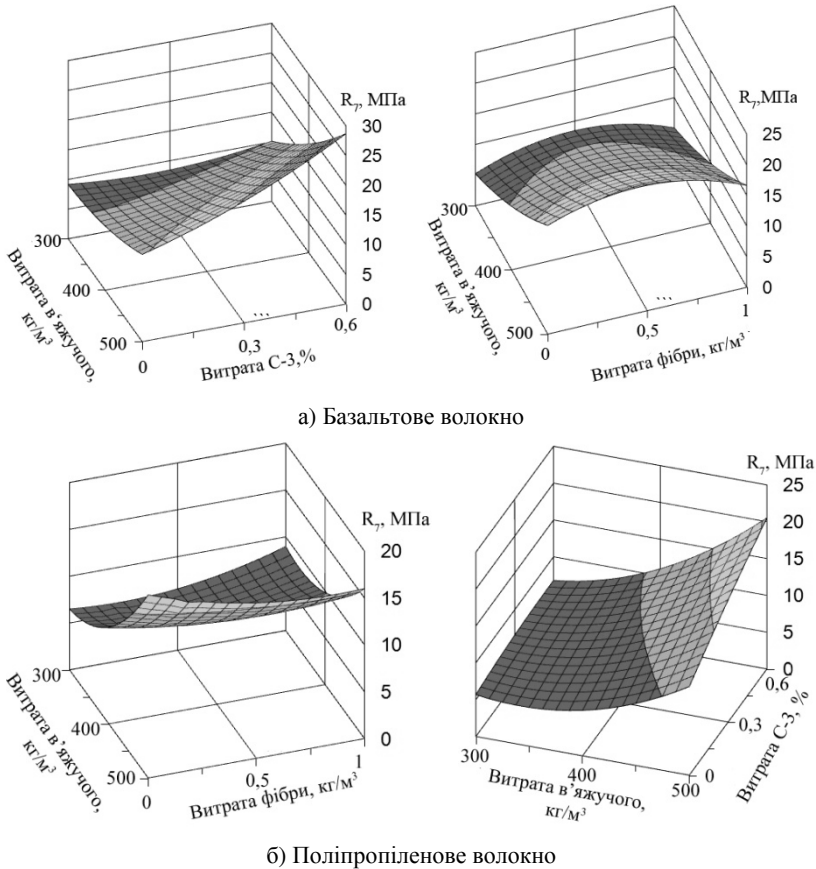
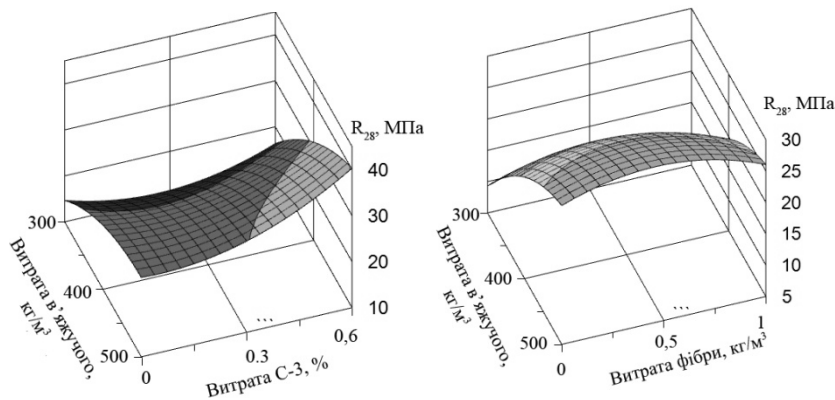


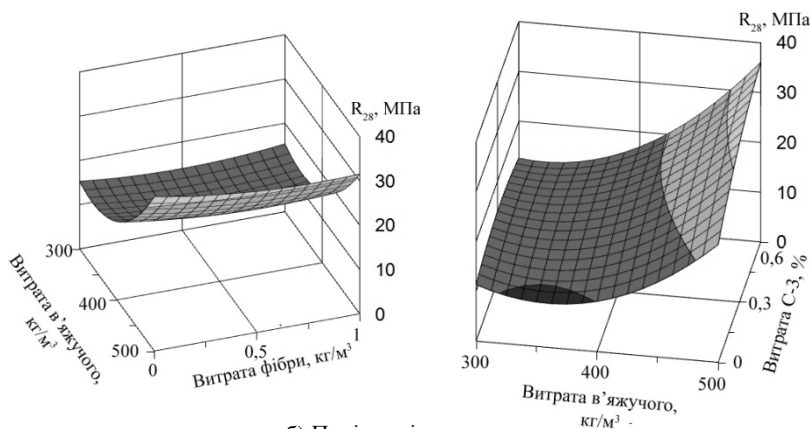
Рис. 2. Вплив технологічних факторів на міцність фіробетону на стиск у віці 7 діб

Позитивно на міцність фібро бетону у віці 7 діб виготовленого на основі малоклінкерного ШПЦ та базальтової фібри впливає збільшення витрат в'язучого та добавки суперпластифікатора С-3, що пов'язано із зниженням водоцементного відношення і відповідно пористості затверділого цементного каменю. Також до деякого зростання міцності бетону у віці 7 діб призводить збільшення витрати базальтової фібри, але до величини не більше 0,5 кг на м³ бетонної суміші. Подальше збільшення вмісту фібри призводить до спаду міцності зразків.

Аналогічним є вплив технологічних параметрів на міцнісні характеристики фібробетону виготовленого на основі поліпропіленової фібри, проте збільшення кількості фібри в даному випадку суттєво не впливає на міцність зразків на стиск у віці 7 діб, що пов'язано із низькою адгезією поліпропілену в цементній матриці.



а) Базальтоне волокно

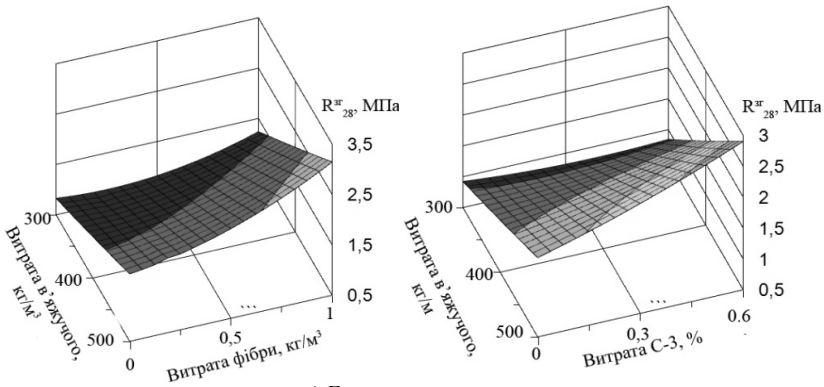


б) Поліпропіленове волокно

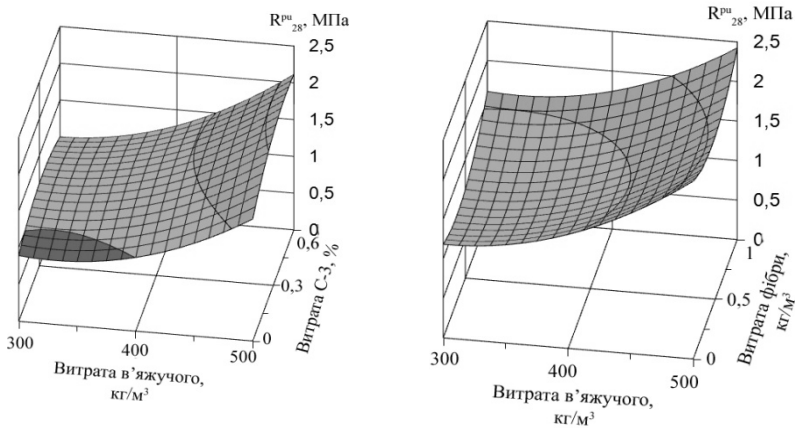
Рис. 3. Вплив технологічних факторів на міцність фібробетону на стиск у віці 28 діб

Міцність фібробетону у віці 28 діб оскільки і міцність у віці 7 діб збільшується при збільшенні витрати в'язучого та добавки суперпластифікатора С-3, що пов'язано із зменшенням водо-цементного відношення необхідного для отримання бетонної суміші рухомістю 5-7 см.

Також позитивно на міцність впливає збільшенні вмісту фібри, при використанні в якості дисперсного армування базальтових волокон, але до величини не більше 0,5 кг на м³ бетонної суміші. Збільшення вмісту поліпропіленової фібри, яка краще розподіляється по об'єму бетону, суттєво не впливає на міцність бетону виготовленого на основі малоклінкерного шлакопортландцементу, що пов'язано із гіршими адгезійними властивостями поліпропіленових волокон. Найбільш суттєвим фактором, який впливає на міцність фібробетону виготовленого на основі малоклінкерного ШПЦ є витрата в'язучого, при збільшенні якої від 300 до 500 кг/м³ міцність зростає на 40%.



а) Базальтоне волокно



б) Поліпропіленове волокно

Рис. 4. Вплив технологічних факторів на міцність фібробетону на згин при розколюванні

Аналізуючи графічні залежності наведені на рис. 4, можна зробити висновок, що позитивно на міцність бетону на згин впливає збільшення витрати в'язучого та витрати суперпластифікатора, що дозволяє знизити В/Ц необхідне для отримання бетонної суміші рухомістю 5-7 см та відповідно знизити пористість та підвищити міцність затверділого бетону. Збільшення вмісту фібри є найбільш суттєвим фактором який впливає на міцність бетону на згин. Внаслідок трьохмірного дисперсного армування цементної матриці бетону волокнами базальтового волокна міцність бетону на розтяг при розколюванні збільшується майже вдвічі. При використанні в якості армуючих волокон поліпропіленової фібри спостерігається дещо гірший ефект, що пов'язано із гіршими адгезійними властивостями поліпропіленових волокон, які при руйнуванні зразка висмикуються з товщі бетону. Проте збільшення вмісту цих волокон дозволяє збільшити міцність бетону на розтяг при розколюванні на 10-15%.

Висновки. Дослідження показали можливість збільшення міцності бетону на розтяг при розколюванні майже вдвічі, використовуючи в якості дисперсного армування базальтову фібру з довжиною волокон 12 мм. Такий ефект досягається за рахунок трьохмірного армування цементної матриці.

Збільшення вмісту поліпропіленової фібри також позитивно впливає на міцність бетону на розтяг, проте даний вплив є не таким значним, як при використанні базальтових волок. Це пов'язано з низькою адгезією поліпропілену в цементній матриці, що призводить до того, що поліпропіленові волокна висмикуються з товщі бетону при руйнуванні зразка. В свою чергу, базальтова фібра по своїм характеристикам не має даних недоліків, а також є корозійностійкою, що дозволяє використовувати її в бетонах і розчинах виготовлених на малоклінкерному ШПЦ, з вмістом клінкеру менше 20%.

1. В'язучі речовини : підручник / Рунова Р. Ф., Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л., Носовський Ю. Л. – К. : Основа, 2012. 2. Використання техногенних продуктів у будівництві / Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л., Пушкарьова К. К., Кочевих М. О., Мохорт М. А., Безсмертний М. П. – Рівне : НУВГП, 2009. 3. Фибробетон. Технологии будущего на службе настоящего // Федеральный строительный рынок. – Вып. 74. – Санкт-Петербург, 2009. 4. Дворкін Л. Й. Основи бетонознавства / Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л. – К. : Основа, 2007. 5. Дворкін Л. Й. Розв'язування будівельно-технологічних задач методами математичного планування експерименту / Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л., Житковський В. В. – Рівне : НУВГП, 2011.

Рецензент: к.т.н., доцент Гариницький Ю. В. (НУВГП)

Dvorkin L. Y., Doctor of Engineering, Professor, Myronenko A. V., Candidate of Engineering, Associate Professor, Stepasiuk Y. O., Post-graduate Student, Bryksa V. V., Senior Student (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

FIBER-REINFORCED CONCRETE WITH A SMALL QUANTITY OF CLINKER

In the article the results of studies of fiber-reinforced concrete studies made from slag Portland cement clinker with a small quantity of clinker less than 20% are presented. The influence of polypropylene fiber and basalt on the strength characteristics of concrete is considered.

Keywords: fiber, slag Portland cement, fiber-reinforced concrete, superplasticizer.

Дворкин Л. И., д.т.н., профессор, Мироненко А. В., к.т.н., доцент, Степасюк Ю. А., аспирант, Брикса В. В., студентка ФБА (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

ФИБРОБЕТОН НА МАЛОКЛИНКЕРНОМУ ШЛАКОПОРТЛАНДЦЕМЕНТЕ

В статье рассмотрены результаты исследований фибробетона изготовленного на основе малоклинкерного шлакопортландцемента с содержанием клинкера менее 20%. Определено влияние полипропиленовой и базальтовой фибры на прочностные характеристики бетона.

Ключевые слова: фибра, шлакопортландцемент, фибробетон, суперпластификатор.
